



Title	低い地心ぶきにおける飛雪の運動
Author(s)	大浦, 浩文; OURA, Hirobumi; 小林, 大二 他
Citation	低温科学. 物理篇, 25, 89-97
Issue Date	1967-12-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18063
Type	departmental bulletin paper
File Information	25_p89-97.pdf



低い地ふぶきにおける飛雪の運動*

大浦浩文・小林大二・小林俊一

(低温科学研究所 気象部門)

(昭和42年7月受理)

I. ま え が き

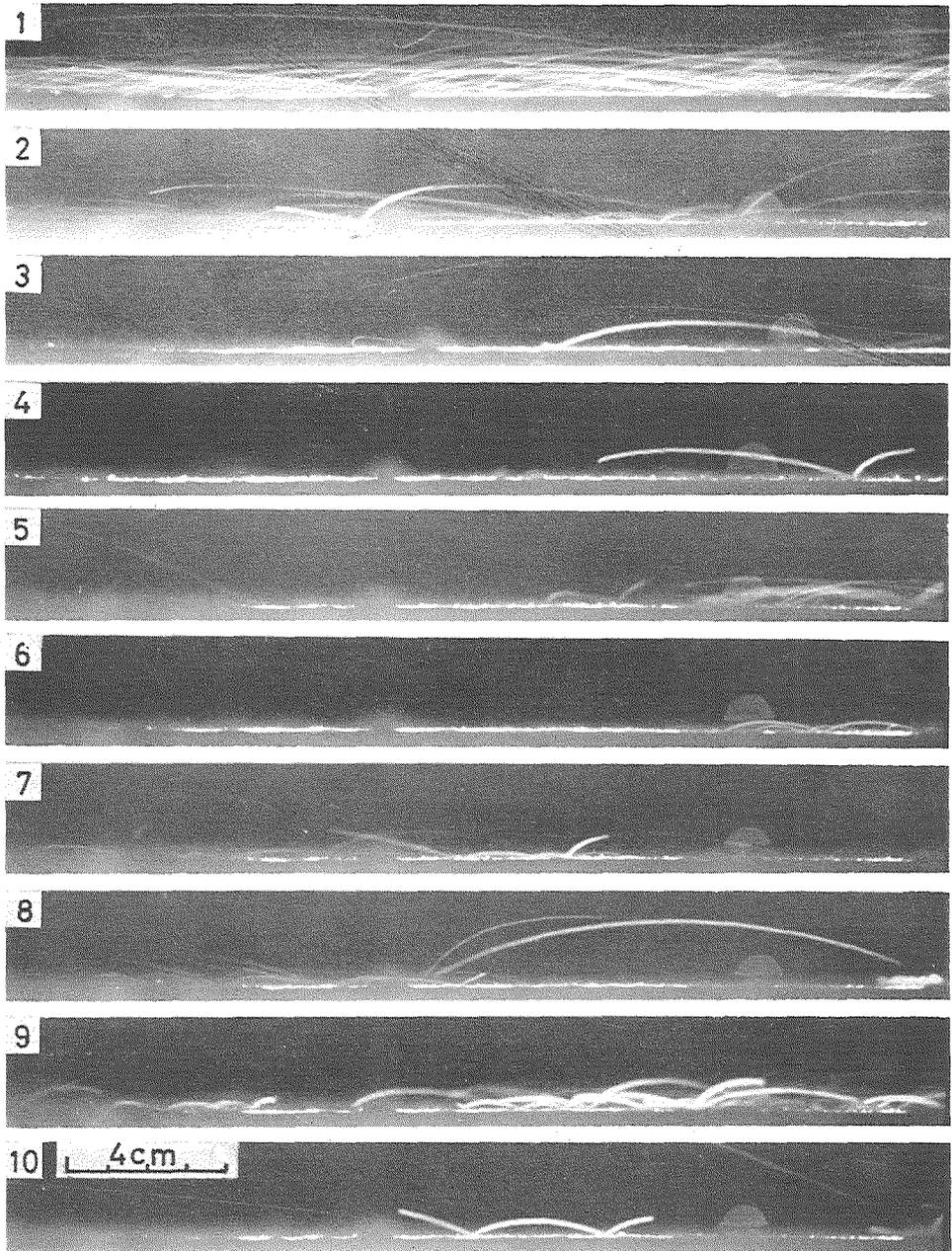
地ふぶきに関しては、Дюнин¹⁾, Mellor²⁾をはじめ多くの人々の研究報告が出されている。しかるに地ふぶき時における飛雪の運動に関しては、suspension, saltation (飛雪が雪面上を跳躍運動をしながら風に運ばれる現象), creep 等の常識的で不明確な分類がなされているだけであって直接的観測はほとんどなされていないようである。そこで著者等は地ふぶき発生に関する研究の一部として1965年2月末にまず飛雪の写真観測に着手した。翌'66年1月になり風洞においてはストロボ照明の使用により、又野外の自然地ふぶきでは昼間黒い板をバックに置くことにより saltation の一部つまり跳び上がりはじめてからの軌跡をつかまえることができた³⁾。しかるに雪面に飛雪粒が衝突してそのままはね返るとか、他の雪粒をはね飛ばすといったいわゆる saltation の現象をとらえることはできなかった。1967年1月末に野外で夜間に人工照明で自然地ふぶきの撮影を行なうことに踏切ってから、ようやく待望の saltation の証拠写真を得ることができた。少し遅れて3月初めに16mm-高速カメラを使用して saltation の運動をより正確にとらえることができた。Mellor は地ふぶきの総合報告²⁾の中で saltation に対してかなり強い疑問を提しているが、その一部は一応解決されたと思われる。ほぼ10cm位の高さまでの低い地ふぶきの発生と移動は saltation に負う所が大きいことは確かである。又従来 creep という運動の状態が通常の雪面にもあると信じられていたが、そのほとんどは小さな saltation の見誤りであるらしい事がわかった。

目下写真上のデーターおよび16mm高速カメラによる映画の解析作業があまり進んでいないのでこの報告では定性的な問題の扱いが大部分であるが、このような方法によって従来あまり手をつけられていないごく低い地ふぶきの様相が明らかになって来るであろう。

II. 撮影の方法

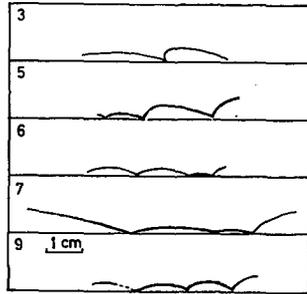
野外での自然地ふぶきの撮影において常識的ではあるが幾つかの留意点がある。まず被写体のバックは光を完全に近く吸収することが要求される。夜間はかなりこの要求を満たすが

* 北海道大学低温科学研究所業績 第829号



第1図 Saltation の例 1

- | | |
|------------------------|---------------|
| 1. 3.0 m/sec (20 cm 高) | 6. 2.3 m/sec |
| 2. 2.7 m/sec | 7. 2.2 m/sec |
| 3. 2.7 m/sec | 8. 2.0 m/sec |
| 4. 2.5 m/sec | 9. 1.9 m/sec |
| 5. 2.4 m/sec | 10. 1.5 m/sec |



第1図附図 第1図の写真上で不明瞭な部分のスケッチ

昼間は奥深い空洞などをバックにする以外方法が無さそうである。第2に運動を解析する時の便宜の為になるべく狭い幅を通過する飛雪粒だけを撮影する方がよい。しかも自然の地ふぶきの運動を妨げてはならないので、結局照明をその部分だけ当てる様にするのが良いと云うことになる。第3に特に雪面上での saltation 等の撮影の為に、カメラを雪面下に半分沈める位にして、雪面が幅を持たずに1本の線として撮影される様に注意する。以上の三点の他にやっかいな問題は地ふぶきの方向が常にわずかずつ変化しているという事である。その方向にはいつも注意していなければならない。この点はステレオ撮影などすればより精度の高い写真が得られると思うがまだやっていない。

実際に使用した照明装置は次の様なものである。まず高さ1 m、幅0.7 m、長さ0.7 mの直方体状のヤグラを作り、その上に幅0.7 m、地ふぶき方向長さ0.9 mの板をのせ照明台とした。台の上にはプロジェクターとストロボライトを置きそれから水平に出る光を台の先端に腕により取付けた鏡で反射させ下の方に向けた。プロジェクター及びストロボにはスリットを入れて雪面上で幅2~3 cm、長さ30 cm位の照明となるようにした。スリットを回転させる様にしておくと地ふぶきの方向に光の帯を容易に合わせられる。

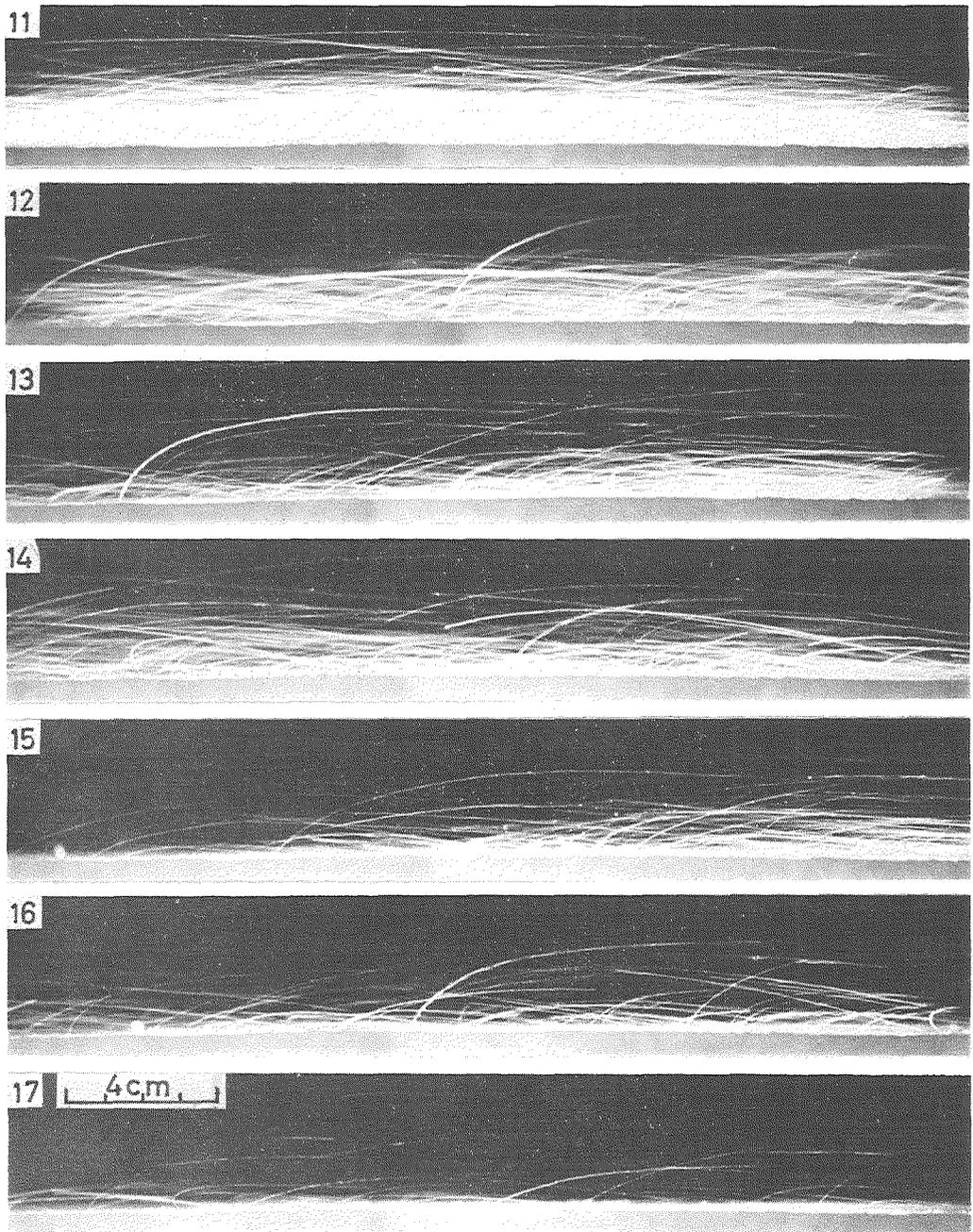
カメラレンズの高さを雪面まで下げて撮影するため普通のカメラ及び16 mm 高速度カメラは雪に穴を掘って設置した三脚にとりつけ、人間もその雪の穴に入る様にした。撮影距離は普通のカメラでは主として0.5 m位、高速度カメラでは1.8 mであった。普通のカメラでの撮影時には2台のカメラを用い、1台のカメラで雪粒の運動を、もう1台のカメラで風速を同時記録した。同時撮影のためにはWレリーズを使った。風速計はロビンソン型の発電式瞬間風速計である。

高速度カメラ使用の時は、ロビンソン型風速計の電接回数器の指示値を別のカメラで撮影記録した。この方法では細かい風速の変動は測定できなかった。

III. 観測結果

a. 35 mm カメラによる観察

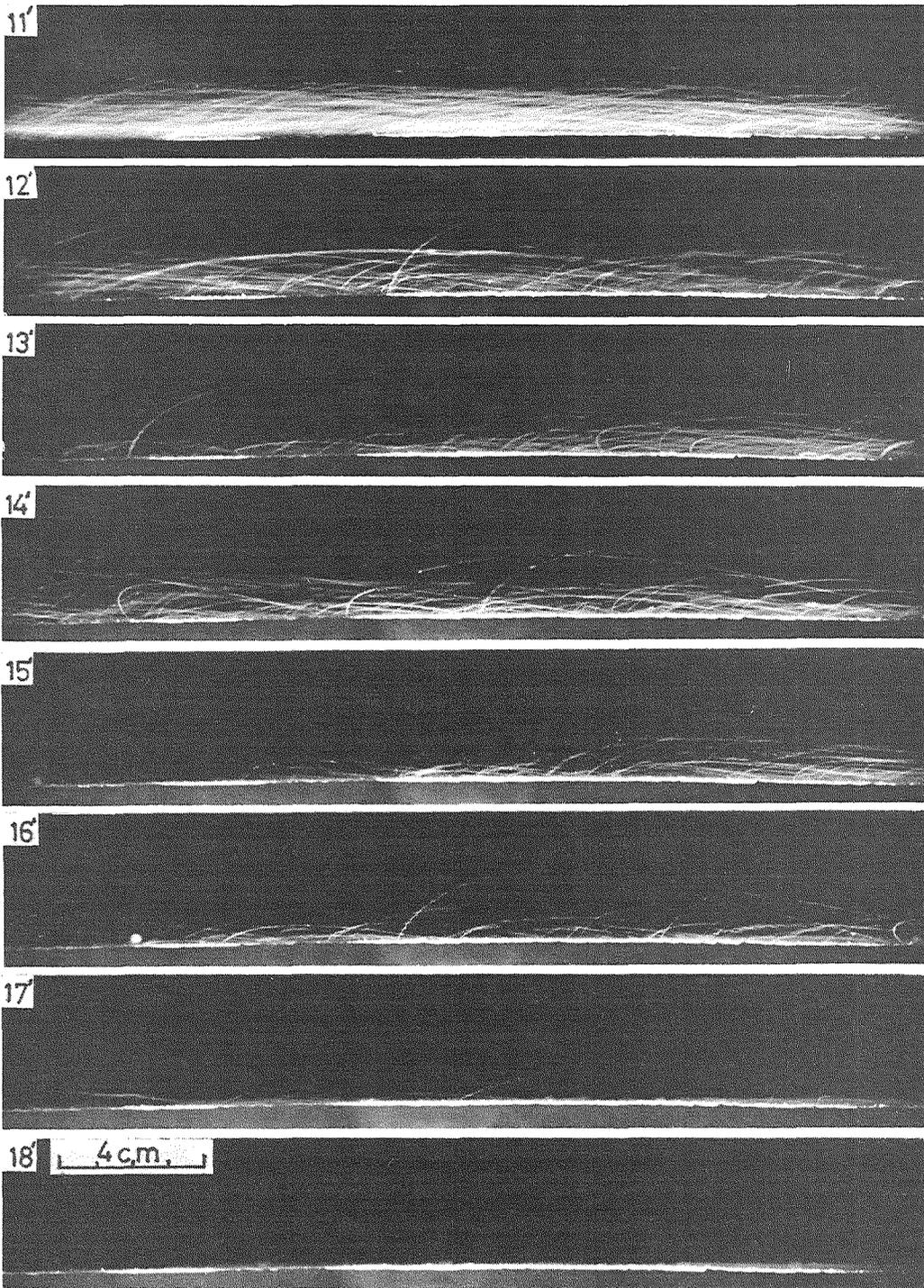
第1図は2~3 m/sec (高さ20 cmでの値)位のごく弱い風の時の例である。このような弱い風で散発的ではあるが地ふぶきの発生があったのは、30分位前までの降雪に続いて地ふぶき



第 2 図 Saltation の例

20 cm 高の風速は次の通り

- | | |
|---------------|-----------------------------|
| 11. 3.6 m/sec | 15. 3.5 m/sec |
| 12. 3.9 m/sec | 16. 3.0 m/sec |
| 13. 3.8 m/sec | 17. 3.1 m/sec |
| 14. 3.1 m/sec | 18'. 2.5 m/sec (第 3 図にのみ示す) |



第 3 図 Saltation の例

第 2 図と同じ陰画フィルムから絞付の露光量を増して地ふぶきの内部の状態を示したものである

が発生しており、撮影中もほんのわずかであるが降雪があったためであろう。2月1日21時45分位からの撮影で、雪温 -8°C 、シャッタースピード $1/8$ 秒、照明幅 2 cm 、ストロボライト 400 回/秒 (写真上での判読困難)、焦点距離 55 mm のレンズ、撮影距離 50 cm である。第1図に一連の写真を示した。この例をあげたのはこの時たまたま弱風のために飛雪粒が少なく saltation の軌跡が明瞭な事と、降下する角度が雪面近くで比較的大きく衝突点での saltation の確認が容易な為である。図に見られるように、saltation の形は種々雑多である。風の状態、雪面の状態、飛雪の形態などの組み合わせは複雑で、簡単に定量的な説明をすることができない。同じ様な大きさの saltation の連続の例 (4, 6, 9, 10)、大き目の saltation の途中で小さなものが $2\sim 3$ 回入る例 (6, 7)、高さが次々に増加している例 (5, 9)、又少し風速を増した時は 30 cm 足らずの視野には入り切らないが、幾何学的に急激な立上がり長い尾を持つ saltation の典型と云われるような例 (1, 2 と第2図全部) など実に様々である。

第1図の写真は一応風速計の指示値の順に並べてある。しかしこの指示値と写真にみる地ふぶきの程度との対応をあまり正確につける事は困難である。一つは今回使用の風速計に遅れがあるという事である。もう一つは地ふぶきの発生条件の複雑さにある。つまり積雪の風に対するもろさ、積雪の構成、前方からの飛雪量の多少などで同じ風の強さに対しても地ふぶきの発生状態は大きく異なってくるからである。第1図で云えることは、この様に地ふぶきの発生にとって最も条件の良い時には $2\sim 3\text{ m/sec}$ 位の弱風でも一応この程度の地ふぶきは発生していると云うことである。この事は第2図の発生状態と比較してみるとその差がわかる。

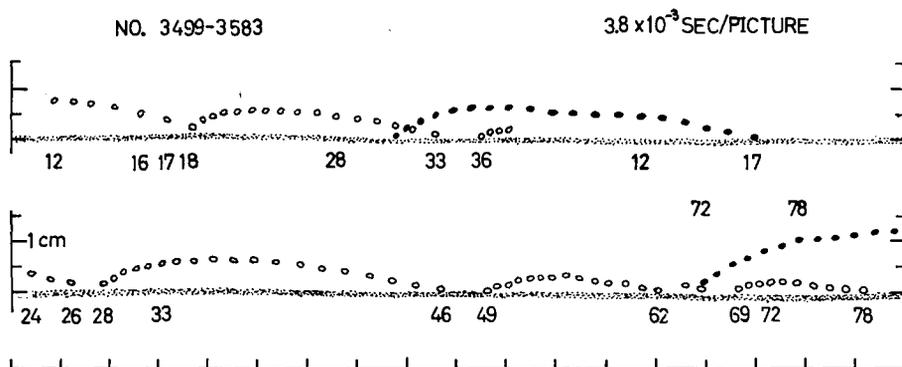
第2図は3月7日23時位からの撮影である。降雪が20時頃まであり、その最中からの地ふぶきが22時過ぎまで続き風の弱まりで一旦止んだ後又23時近くに弱い地ふぶきが発生した所で雪温は -11°C であった。照明幅は 2.5 cm 、ストロボライト 100 回/秒、シャッタースピード $1/8$ 秒で 50 cm の距離から撮している。第2図の場合も第1図と同じく風速計の指示値を示しておいたが、やはり対応は付け難く、地ふぶきの程度の大きいものから順に並べてある。第3図は第2図と同じ写真で、焼付けの露光量を増して地ふぶきの内部の状態を示したものである。この様に地ふぶきの密度が増しても個々の飛雪は saltation の状態にあることがわかる。第3図の $18'$ は地ふぶきの発生していない事を示しているが、地ふぶきの発生限界は 3 m/sec 弱位にあるようである。第1図の場合の 2 m/sec 前後に比していく分発生限界が増している。第2図の場合も $3\sim 4\text{ m/sec}$ 位ではこの程度の規模の発生状態であるということが全体を通じて云えるが、個々の風速との関係は云い難い。この時の飛雪のサンプルは少なく統計的な事はわからないが、樹枝状結晶のものが主で角板も少し見られる。大きさは 0.4 mm 前後が目につく。

この他にも $3\sim 5\text{ m/sec}$ の風速で地ふぶきが数 cm 位の高さの日が数日あったが、ほとんど第2図の様な状態の写真である。結局この程度の弱い地ふぶきすなわち足許を流れる様に見える流雪と云われるものは、ほとんどが大小様々の saltation であると云うことが云えそうである。又 creep らしきものはほとんど撮影されていない。

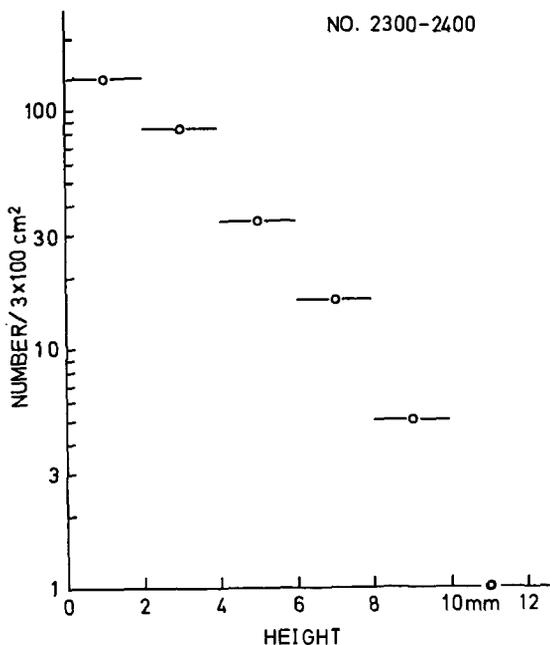
b. 16 mm 高速カメラによる観測

札幌での地ふぶきシーズンも終り近く3月7日にかねて懸案であった 16 mm 高速カメラ

(HYCAM) による夜間撮影を試みた。このカメラは毎秒 10~8000 駒の撮影性能があり、地ふぶきの撮影には丁度良い。撮影は第 2 図の時刻の少し前 20 時 40 分から行なわれた。降雪が 20 時まで続き、ずっと地ふぶきが継続していた時で雪温は -8°C であった。撮影速度はほぼ指数関数的に増加するようになっているが、今回は 2000 駒目で 200 駒/秒、4000 駒目で 280 駒/秒である。撮影距離は約 1.8 m、照明幅は 3.0 cm、焦点距離 75 mm レンズの使用という条件であった。風速は最後の 20 秒間位の平均で 4.3 m/sec (20 cm 高) となっていた。この映画により飛雪の saltation の運動状態がかなり良くわかる。フィルムを 1 駒ずつ送って飛雪粒の動きを追った例を第 4 図に示めす。運動の解析は目下進行中であり追って報告する。予想外であったこと



第 4 図 高速度カメラによる飛雪の運動例
数字は駒番号 3500 台の下 2 桁を示めす



第 5 図 高速度カメラによる飛雪粒子数の垂直分布例 (2300 駒目から 2400 駒目にかけて 10 駒目毎に $3 \times 10^2 \text{ cm}^2$ 上の粒子数を 10 駒にわたって数えた)

は、第4図でもみられるように飛雪が一旦空気から得た運動量が雪面近くでもほとんど減衰していない様に見られることである。これは雪面の極く近くまで風速が衰えていないことを示している。とにかく空気と飛雪の運動量の交換及びその事による飛雪層の上下のエネルギー交換、雪面での衝突による運動量の損失などがどの程度に行なわれているか興味深い。又この映画の途中で飛んで来た雪粒が0.4 sec間停止し、その後衝突されて再び飛び出した現象がみられた。地ふぶき中の雪面がどンドンけずられて行くのを野外で観察したことが度々あったが、この様に飛雪の衝突が引きがねになっていたのであろう。

高速度映画の1駒1駒はその瞬間の空間の飛雪の分布を示めしている。試みに2300駒目から2400駒目にかけて10駒おきに飛雪粒子数を数えて高さ2 mm毎に集計したのが第5図である。照明幅は3.0 cmで対象にした長さは10 cmであったから延べ300 cm²上の飛雪数を集計したことになり、1 cm²上に0.9個位飛んでいたことになる。

全体にわたってこの様な解析を行ない、合わせて移動数の測定も行なえば一般性のあるデータが出てこよう。この様な1~2 cmという雪面近くの地ふぶき量の測定は機械的には困難であるので高速度カメラによる測定は有力な方法であらう。

以上の実験は北海道大学農学部附属第1農場において行なわれたものである。同農場関係の方々から種々御便宜を計っていただいたことを感謝する。

文 献

- 1) Дюнин, А. К. 1963 Механика Метелей, Сибирского Отделения, АН, СССР, Новосибирск, 378 pp.
- 2) Mellor, M. 1965 Blowing Snow, Cold Regions Science and Engineering, Part III, Section A3c, CRREL, Hanover, N. H., U.S.A., 85 pp.
- 3) Oura, H., Ishida, T., Kobayashi, D., and Kobayashi, S. 1967 Studies on blowing Snow II, *In* Physics of snow and Ice, Part 2 (H. Ôura, ed.), Inst. Low Temp. Sci., Sapporo.

Summary

Standing in drifting snow, a shallow stream of snow particles obscuring ones feet may be observed. The mechanisms of transportation in this phenomenon is said to be "saltation" and "creep". But in "saltation", there is no direct evidence on the mode of snow transport with regard to whether the particles are rebounding or ejecting other particles on the snow surface. On February 1965, the authors planned to photograph trajectories of particles and succeeded on January 1966 to obtain pictures of the flight motion of trajectories³⁾. The photographs were taken in a wind tunnel under illumination by strobolight and incandescent light at the same time, and in the field in daylight by the use of a black plate as a background. However, there were no clear pictures catching the moment when snow particles were rebounding or ejecting other particles.

On January 1967, natural drifting snow in the field was photographed at night and finally many pictures showing "saltation" were obtained (*cf.* Figs. 1, 2 and 3). A strobo-

light lamp and a projector were set up on a frame work 1 m in height. Horizontal slits were inserted into both illuminators and the horizontal thin layers of light from them were reflected downward by a mirror. The width of illumination on the snow surface was 2 cm in the case of Fig. 1 and 2.5 cm in Fig. 2. Figure 1 shows an example of low wind speed 2-3 m/s at 20 cm in height during a very light snowfall. This was taken at about 22hr on February 1, 1967 and the temperature in the snow surface layer was -8°C . Fortunately there were a few drifting particles, enabling us to see every trajectory clearly. Exposure time of photograph was a constant $1/8$ second. Figure 2 shows pictures of a typical case of a shallow stream of snow particles at a wind speed of 3-5 m/s (at 20 cm in height) without snowfall. The photographs were taken around 23hr on March 7, 1967. The temperature in the snow surface layer was -11°C and about 3hrs before it had stopped snowing. The lower cloudy parts of blowing snow in Fig. 2 are shown on Fig. 3, which were obtained from the same negative film by means of increasing developing time in printing. From these two series of pictures it was confirmed that "saltation" is the main transport mechanism of low drifting snow. We also used a 16 mm high speed motion picture camera at 1040hr on the same day when the photograph in Fig. 2 was taken. The frame rate was about 200-280 pictures per second. The temperature in a snow surface layer was -8°C and the mean wind speed at 20 cm height was 4 m/sec. It stopped snowing 40 minutes before the exposure. With slow motion pictures many examples in which particles were rebounding and sometimes ejecting other particles lying on a snow surface can be seen. Figure 4 is an example of snow particle movement traced from the motion picture. The shutter speed per frame was $1/500-1/700$ second, so every picture caught almost instantaneous spatial distribution of blowing snow particles. The number of snow particles flying in the air above an area of snow surface 300 cm^2 (3 cm in width of illumination) was counted, and the vertical distribution is shown in the Fig. 5 by the number in every 2 mm thick layer. In the near future, when the analysis of both photographs and high speed motion pictures are completed the momentum exchange between snow particles and air will be clarified. At this stage, it may be concluded for low drifting snow that most snow particles are transported by "saltation" along the surface within a layer about 10 cm, and no evidence of creep or suspension was seen.